

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-078307

(43)Date of publication of application : 22.03.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03B 27/72

G03F 7/20

(21)Application number : 06-209800

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 02.09.1994

(72)Inventor : KATAOKA YOSHIHARU  
MORI TETSUYA

## (54) CONDITION OF EXPOSURE AND MEASURING METHOD OF ABERRATION OF PROJECTION OPTICAL SYSTEM

### (57)Abstract:

PURPOSE: To provide a method, in which the optimum conditions of exposure corresponding to the kinds of resists are measured at high speed with high accuracy, and a method, in which the aberration of a projection optical system is measured.

CONSTITUTION: A process, in which a pattern is transferred to a photosensitive substrate under the mutually different conditions of exposure and a plurality of photosensitive patterns are formed, a process, in which a plurality of the photosensitive patterns are picked up, a process, in which the frequency components of each photosensitive pattern are computed from a picture signal obtained by the picking-up process, and a process, in which the optimum conditions of exposure at a time when the pattern is transferred to the photosensitive substrate are determined on the basis of the frequency components of each photosensitive pattern, are provided.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 29.11.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3297545

[Date of registration] 12.04.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11) 特許出願公開番号

特開平8-78307

(43) 公開日 平成 8 年(1996) 3 月22日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H01L 21/027				
G03B 27/72	Z			
G03F 7/20	521			
			H01L 21/30	502 G
				516 D
			審査請求	未請求 請求項の数16 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平6-209800

(22) 出願日 平成 6 年(1994) 9 月 2 日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子 3 丁目30番 2 号

(72) 発明者 片岡 義治

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地キヤ  
ノン株式会社小杉事業所内

(72) 発明者 森 鉄也

神奈川県川崎市中原区今井上町53番地キヤ  
ノン株式会社小杉事業所内

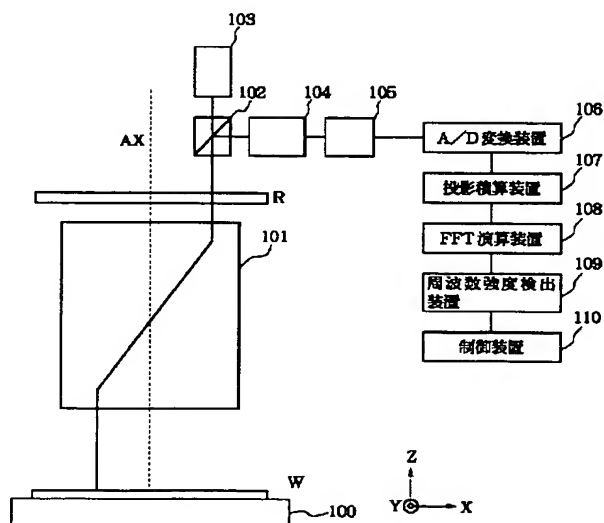
(74) 代理人 弁理士 丸島 儀一

(54) 【発明の名称】 露光条件及び投影光学系の収差測定方法

(57) 【要約】

【目的】 高精度および高速にレジストの種類に対応した最適露光条件を測定する方法及び投影光学系の収差を測定する方法を提供することを目的とする。

【構成】 パターンを互いに異なる露光条件で感光基盤上に転写して複数の感光パターンを形成する工程と、前記複数の感光パターンを撮像する工程と、前記撮像工程によって得られる画像信号から前記各感光パターンの周波数成分を算出する工程と、前記各感光パターンの周波数成分のに基づいて前記パターンを前記感光基盤に転写する際の最適露光条件を決定する工程とを有する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 パターンを互いに異なる露光条件で感光基盤上に転写して複数の感光パターンを形成する工程と、

前記複数の感光パターンを撮像する工程と、

前記撮像工程によって得られる画像信号から前記各感光パターンの周波数成分を算出する工程と、

前記各感光パターンの周波数成分のに基づいて前記パターンを前記感光基盤に転写する際の最適露光条件を決定する工程とを有することを特徴とする露光条件測定方法。

【請求項 2】 前記感光基盤は、レジストが塗布されたウエハであることを特徴とする請求項 1 記載の露光条件測定方法。

【請求項 3】 前記感光パターンは、現像工程後に形成されるレジストパターンであることを特徴とする請求項 2 記載の露光条件測定方法。

【請求項 4】 前記感光パターンは、現像工程前にレジスト層に形成される潜像であることを特徴とする請求項 2 記載の露光条件測定方法。

【請求項 5】 前記パターンは、周期性を有するパターンであることを特徴とする請求項 1、2 に記載の露光条件測定方法。

【請求項 6】 前記各感光パターンの周波数成分のうち前記周期性パターンで決まる基本周波数のパワーに基づいて前記最適露光条件を決定することを特徴とする請求項 5 記載の露光条件測定方法。

【請求項 7】 前記露光条件は露光量であることを特徴とする請求項 1 記載の露光条件測定方法。

【請求項 8】 レチクル上のパターンを投影光学系を介して感光基盤上に転写して感光パターンを形成する工程と、

前記感光パターンを撮像する工程と、

前記撮像工程によって得られる画像信号から前記感光パターンの周波数成分を算出する工程と、

前記感光パターンの周波数成分に基づいて前記投影光学系の収差を決定する工程とを有することを特徴とする収差測定方法。

【請求項 9】 前記感光基盤は、レジストが塗布されたウエハであることを特徴とする請求項 8 記載の収差測定方法。

【請求項 10】 前記感光パターンは、現像工程後に形成されるレジストパターンであることを特徴とする請求項 9 記載の収差測定方法。

【請求項 11】 前記感光パターンは、現像工程前にレジスト層に形成される潜像であることを特徴とする請求項 9 記載の収差測定方法。

【請求項 12】 前記パターンは、レチクル上の複数の位置に配置されていることを特徴とする請求項 8、9 記載の収差測定方法。

【請求項 13】 前記感光パターンの周波数成分の位相に基づいて前記投影光学系の収差を決定することを特徴とする請求項 8 の収差測定方法。

【請求項 14】 前記投影光学系の光軸方向の異なる位置で前記感光基盤上に前記複数のパターンをそれぞれ転写して複数の前記感光パターンを形成することを特徴とする請求項 8 記載の収差測定方法。

【請求項 15】 前記パターンは、周期性を有するパターンであることを特徴とする請求項 14 記載の収差測定方法。

【請求項 16】 前記各感光パターンの周波数成分のうち前記周期性パターンで決まる基本周波数のパワーに基づいて前記投影光学系の像面位置を決定することを特徴とする請求項 15 記載の収差測定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、LSIなどを製造する場合、特にリソグラフィー工程において使用される露光装置の露光条件もしくは露光装置の投影光学系の収差を測定する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】この種の露光装置においては回路パターンの集積度が高まり、転写すべきパターンの線幅もサブミクロンの領域になり、その投影レンズの解像力を安定して維持していくためには露光量条件とフォーカス条件を正確に設定することが重要になる。

【0003】従来では、1ショット毎に、露光条件即ちフォーカス位置と露光量(シャッター時間)の少なくとも一方を変えながら、感光基板上に焼き付け後感光基板を現像して直線上のパターンの線幅を光学顕微鏡や線幅測定装置で計測することで最適な露光条件を決定している。

【0004】例えばステップアンドリピート方式の露光装置においては、ウェハー上のショット領域の配列の横方向についてはフォーカス値を一定にして露光量(シャッター時間)を一定量ずつ変えて露光を行ないショット配列の縦方向については、露光量を一定にしてフォーカス値を一定量ずつ変えて露光する。

【0005】現像後に形成された各ショット内のラインアンドスペースのレジストパターンの線幅を走査型電子顕微鏡によるSEM測長等により検出し、投影レンズの最適焦点位置と最適露光量が算出される。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技術においては、レジストパターンの線幅をSEM等で計測するため処理速度が極めて遅いし、装置価格が極めて高価であるという問題があった。

【0007】本発明は以上の点を考慮してなされたもので、高精度および高速にレジストの種類に対応した最適露光条件を測定する方法及び投影光学系の収差を測定す

10

20

30

40

50

る方法を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段および作用】本発明では、L&Sのパターンを転写した場合 (1) 最適フォーカス位置 (2) 最適露光量におけるレジストパターンのデューティ (ラインとスペースの長さの比率) が 1 : 1 になる原理を利用している。

【0009】そこで本発明においては、レチクル (R) に一方向に周期性をもつ (L&S デューティ 1 : 1) 露光条件測定用パターンを形成したマスクを用いて、その基準パターンの像をウェハ (W) への露光量とフォーカス位置の少なくとも一方の条件を変えてウェハ上に順次露光する。

【0010】現像後各レジストパターンを CCD カメラで撮像し、その画像信号の一方向への積算により得られる 1 次元信号を空間周波数領域に変換し、その領域でパターンから生ずる空間周波数の強度を算出することで L&S のレジスト像のデューティを検出し、投影光学系の最適フォーカス位置と最適露光量を高精度、高速に算出することができる。

【0011】本発明の露光条件測定方法のある形態は、パターンを互いに異なる露光条件で感光基盤上に転写して複数の感光パターンを形成する工程と、前記複数の感光パターンを撮像する工程と、前記撮像工程によって得られる画像信号から前記各感光パターンの周波数成分を算出する工程と、前記各感光パターンの周波数成分に基づいて前記パターンを前記感光基盤に転写する際の最適露光条件を決定する工程とを有することを特徴とする。

【0012】本発明の収差測定方法のある形態は、レチクル上のパターンを投影光学系を介して感光基盤上に転写して感光パターンを形成する工程と、前記感光パターンを撮像する工程と、前記撮像工程によって得られる画像信号から前記感光パターンの周波数成分を算出する工程と、前記感光パターンの周波数成分に基づいて前記投影光学系の収差を決定する工程とを有することを特徴とする。

#### 【0013】

【実施例】以下、本発明を図に示した実施例に基づいて詳細に説明する。図 1 は本発明が適用された露光条件測定を行なう装置を備えた露光装置の第 1 実施例を示すものである。

【0014】図 1 において、101 は縮小投影レンズでありレチクル R 面上の回路パターンをウェハ W 上に投影する。その光軸は図中 A X で示されている。また光軸 A X は図中の Z 方向と平行な関係にある。100 はウェハ W を吸着し、x、y 方向および z 方向に移動させるウェハステージである。

【0015】またこの露光装置には、フォーカス位置制御装置及び露光量制御装置を備えている。図 2 はフォーカス位置制御装置及び露光量制御装置の部分的概略図で

ある。まずフォーカス位置制御について説明する。

【0016】203 は半導体レーザなどの高輝度光源で 204 は照明光学系である。光源から射出した光は照明用光学系よりピンホールを通過し、その光束は折り曲げミラー 205 で方向を変えられた後、ウェハ W の表面に入射する。ウェハ W の測定点で反射した光束は折り曲げミラー 206 で方向を変えられた後、位置検出光学系 207 を介して 2 次元位置検出素子 208 に入射する。2 次元位置検出素子 208 は CCD などからなり、入射位置を検知することが可能である。ウェハ W の投影レンズ 101 の光軸 A X 方向の位置変化は、2 次元位置検出素子 208 上で入射位置のずれとして検出できるため光軸 A X 方向の位置が 2 次元位置検出素子 208 からの出力信号に基づいてウェハステージの位置を制御している。次に露光量制御について説明する。215 は水銀ランプなどの光源で、214 はシャッターで開閉可能である。213 は照度を検出するためのセンサーであり、このセンサーで露光光の照度を測定し、露光量が一定となるように、積算露光制御装置がシャッターの開閉時間を制御する。

【0017】図 1 に戻って、図 4 に示すようなパターン M を形成したレチクル R を露光装置にセットして、ポジ型のレジストを塗布したウェハをセットし、パターン M をステップアンドリピート方式でウェハ上に順次露光していく。このとき前述したフォーカス制御装置及び露光量制御装置を用いて、x 方向のショット位置に応じて露光量を変えて設定し y 方向のショットに対しては、フォーカスオフセットを一定量ずつ変えながら露光していく。

【0018】図 3 に現像後のウェハのレジストパターンの断面図を示す。(A) ~ (C) はベストフォーカス位置で露光量を変えた場合で、(D) ~ (F) はデフォーカスした位置で露光量を変えた場合である。

【0019】次に、現像後のウェハをウェハステージ 100 に載置し、照明系 103 によって、ウェハ W 上のパターン M のレジストパターンを照明する。102 はハーフミラー、104 は検出光学系であり所定の倍率でパターン M のレジストパターンを撮像装置 105 の撮像面に結像させる。

【0020】撮像装置 105 は、例えば I T V、2 次元イメージセンサ等の光電変換装置であり撮像した像を 2 次元の電気信号に変換するものである。

【0021】図 4 は、前述したように、レチクル上の測定用パターンであり、クロムで形成された同一の線幅を有する矩形パターンをそれぞれ x 方向および y 方向に伸びて平行に配列されたものとなっている。

【0022】撮像装置 105 によって 2 次元の電気信号に変換されたパターン像は、106 の A/D 変換装置によって、投影光学系 101 と検出光学系 104 の光学倍率および撮像面の画素ピッチにより定まるサンプリング

ピッチ $\lambda_s$ により2次元の装置上の画素のXY方向のアドレスに対応した2次元離散電気信号列に変換される。107は投影積算装置であり、図5で示すパターン(Mx)のレジストパターンを含むような所定の2次元のウィンドウを設定した後に、図5で示すy方向にウィンドウWx内で画素積算を行ない、図6に示すx方向に離散的な電気信号列S(x)を出力する。108はFFT演算装置であり、入力した電気信号列s(x)を離散フーリエ変換し、s(x)を空間周波数領域に変換しそのフーリエ係数を高速に演算するものである。その手法は公知のN点(N=2<sup>r</sup>)の高速フーリエ変換(FFT)によるものであり、サンプリング周波数を $f_s=1$ としたときに周波数 $f_k=k/N$ の複素フーリエ係数を $X_k$ で表せば、

【0023】

【外1】

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} s(x) \exp(-j \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot n / N)$$

(ただしjは虚数単位)で求めることができる。そのときの空間周波数 $f_k$ の強度を $p_k$ とすれば、

【0024】

【外2】

$$p_k = \sqrt{(\operatorname{Re}(X_k))^2 + (\operatorname{Im}(X_k))^2}$$

(ただし、 $\operatorname{Re}(X_k)$ 、 $\operatorname{Im}(X_k)$ は複素数 $X_k$ の実部および虚部を表す)

【0025】ここでパターン(M)のパターンピッチを $\lambda_p$ とすれば空間周波数 $f_{1p}=\lambda_s/\lambda_p$ の強度は大きくなり、また、 $f_{1p}$ の第n高調波 $f_{np}=n \cdot f_{1p}$ ( $n=2, 3, 4, \dots$ )の強度も大きくなる関係がある。

【0026】図6は、フォーカスを変えて露光した時のパターンをCCDカメラで撮像した投影積算信号の1例を示すもので、図7~図9はその信号をFFT演算装置で離散フーリエ変換したものである。最適焦点位置では、ラインとスペースの比率即ちレチクル(R)に構成されているL&Sパターンのデューティが1:1であるならば、レジストパターンにおいても空間周波数 $g_{1p}=2\lambda_s/\lambda_p$ のパワーが大きくなり、 $g_{np}=n \cdot g_{1p}$ ( $n=2, 3, 4, \dots$ )のパワーも大きくなる。ただし、デフォーカス状態では、ラインアンドスペースのデューティが1:1でなくなるため基本周波数 $f_{1p}$ のn倍、この場合だと $f_{3p}$ での周波数のパワーが大きくなり、最適焦点位置で最小となる。

【0027】従って、基本周波数 $f_{1p}$ のn倍の周波数の中から任意に選択しその周波数のパワーが最小となるフォーカス位置を検出することで最適焦点位置が検出できる。図14に示すようにフォーカス位置と周波数強度( $f_{3p}$ )の関係が得られ、このときの周波数強度の最小値に対応したフォーカス位置が最適焦点位置となる。

【0028】また、この時選択された周波数( $f_{3p}$ )のパワーのその時の他の基本周波数のパワー(例えば $g_{1p}$ や $g_{2p}$ )に対する比率が最小となる時を最適焦点位置としても良い。このように各ショットで他の基本周波数のパワーで規格化することにより、ショット間の違い例えば照明光量やレジスト厚さの違いによる反射光量の差による誤差を低減できる。

【0029】図10は、露光量を変えて露光した時のパターンをCCDカメラで撮像した投影積算信号を示すもので図11~図13はその信号をFFT演算装置で離散フーリエ変換したものである。フォーカスの場合と同様に $f_{1p}$ 、 $f_{2p}$ の基本周波数強度については露光量にかかわらず大きくなるのが分かる。

【0030】最適露光量についても最適フォーカス位置と同様に、ラインアンドスペースのデューティが1:1に最も近づいた状態すなわち $f_{3p}$ の周波数成分のパワーが最小となる露光量として定義できる。図15は露光量を変えたときの、周波数強度( $f_{3p}$ )を示したものであり、周波数強度の最小値に対応する露光量が最適露光量となる。もちろん前述したように各ショットにおいて他の基本周波数のパワーで規格化しても良い。

【0031】また、最適焦点位置または最適露光量の場合は、ラインアンドスペースのデューティが1:1になるため基本周波数 $g_{1p}$ 、 $g_{2p}$ の周波数強度が最大となるので、 $g_{1p}$ または $g_{2p}$ の周波数強度が最大となるフォーカス位置および露光量として定義してもよいし、基本周波数同士のパワーを比較して、例えば、 $g_{1p}$ と $g_{2p}$ とを比較し、ある所望の関係になった時を最適焦点位置または最適露光量として定義しても良い。

【0032】算出されたフォーカス値は図2におけるフォーカス制御装置にフィードバックすることによりウェハー(W)を常にベストフォーカス位置に設定することができる。露光量についても図2における積算露光制御装置にフィードバックすることで最適露光量に設定可能である。

【0033】以上の様に最適焦点位置および最適露光量が算出されレジスト種類、膜厚の変化に応じて、上の処理を繰り返しながら常に最適露光条件が算出される。第1の実施例においては、現像後のウェハーのレジストパターンを検出するようにしたが、現像前の潜像を検出するようにしても最適焦点位置および最適露光量を決定できる。潜像を検出するようにすれば現像工程を省くことができるので、投影露光装置上で露光条件が自動測定できセットアップ時間を大幅に短縮できる。

【0034】また、図4に示した測定用パターンはx方向およびy方向に配列しているため、同一位置でx方向とy方向の最適フォーカス位置を検出することで投影光学系の非点収差を計測できる。すなわち、図5で示すパターン(My)のレジストパターンを含むような所定の2次元のウィンドウを設定した後に、図5で示すx方向

にウィンドウ  $W_y$  内で画素積算を行ない、 $y$  方向に離散的な電気信号列  $s(y)$  を出力する。同様に入力した電気信号列  $s(y)$  を離散フーリエ変換し、 $s(y)$  を空間周波数領域に変換し、そのフーリエ係数を算出することで  $y$  方向のフォーカス検出ができるようにして、互いに方向が異なるパターンの最適焦点位置を検出して投影レンズのレジストプロセスを介した際の実際の非点収差が計測できる。

【0035】さらに露光領域内の中心と外周位置の複数位置に測定用パターンを設けることで投影レンズのレジストプロセスを介した差異の実際の像面湾曲と像面傾きを検出することができる。ただし、精度向上の点で  $L$  &  $S$  のマーク本数は  $FFT$  処理をする上でも多い方が望ましく、少なくとも 10 本は必要である。

【0036】前述の処理では、フーリエ変換後のパワーを評価したが、その位相を検出すればレジストパターンの非対称性も検出でき投影レンズの露光量域内の各位置におけるコマ収差も計測できる。

【0037】このような投影レンズの収差を検出する際は、回路パターンを実際に露光するレジストでなくとも良く感光する材料であれば良い。例えば光磁気材やフォトクロ材であっても良い。

【0038】第 1 実施例では、ウエハに測定用パターンを露光する際も、またレジストパターンを検出する際も縮小投影レンズもしくは露光装置を用いたが、レジストパターンを検出する際は別の観察光学系で行っても良い。それにより計測結果に対する投影レンズ自体の収差の影響を低減できる。

【0039】また第 1 実施例では、投影光学系を用いた時の露光条件を求めたが投影光学系を用いないプロミキシティ露光の時の露光条件でも良く、その時は焦点位置の代わりにマスクとウエハとの間隔を変える。

【0040】

【発明の効果】本発明によれば、周期性をもつパターン例えば  $L$  &  $S$  パターンをレチクルに構成した露光条件測定用レチクルを用いて、このパターンのレジスト像の  $L$  &  $S$  のデューティを  $FFT$  を算出することで最適露光条件を測定している。このため、露光条件を高精度、短時間に測定することができる。また、レチクルの複数位置に露光条件測定用パターンを構成すれば、簡単に投影光学系の収差例えば像面湾曲や像面傾き、または、非点収差、コマ収差を求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による露光条件測定装置の構成を示す図。

【図 2】露光装置におけるフォーカス検出と露光量制御の部分的概略図。

【図 3】レジストに形成されたパターンの断面図。

【図 4】本発明の露光条件測定方法の計測対象であるマスクに構成するパターンを示す図。

【図 5】ウェハ上に形成されたパターンと 2 次元のウィンドウの関係を示す図。

【図 6】フォーカスを変えて露光した時のパターンを  $CCD$  カメラで撮像した投影積算信号の一例を示す図。

【図 7】デフォーカス ( - ) した位置で転写したパターンの投影積算信号を  $FFT$  演算装置で離散フーリエ変換して、縦軸を周波数強度、横軸に空間周波数をプロットした図。

【図 8】デフォーカス ( + ) した位置で転写したパターンの投影積算信号を  $FFT$  演算装置で離散フーリエ変換して、縦軸を周波数強度、横軸に空間周波数をプロットした図。

【図 9】最適焦点位置で転写したパターンの投影積算信号を  $FFT$  演算装置で離散フーリエ変換して、縦軸を周波数強度、横軸に空間周波数をプロットした図。

【図 10】露光量を変えて転写したパターンを  $CCD$  カメラで撮像した投影積算信号の一例を示す図。

【図 11】露光量が少ない場合のパターンの投影積算信号を  $FFT$  演算装置で離散フーリエ変換して、縦軸を周波数強度、横軸に空間周波数をプロットした図。

【図 12】露光量が多い場合のパターンの投影積算信号を  $FFT$  演算装置で離散フーリエ変換して、縦軸を周波数強度、横軸に空間周波数をプロットした図。

【図 13】最適露光量で投影積算信号を  $FFT$  演算装置で離散フーリエ変換して、縦軸を周波数強度、横軸に空間周波数をプロットした図。

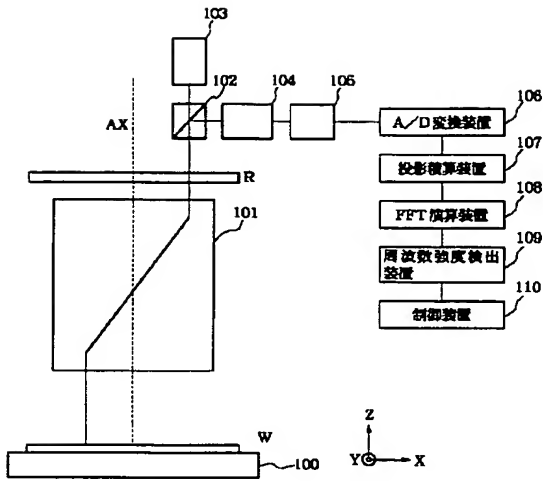
【図 14】縦軸を周波数強度、横軸にフォーカス位置をプロットした図。

【図 15】縦軸を周波数強度、横軸に露光量をプロットした図。

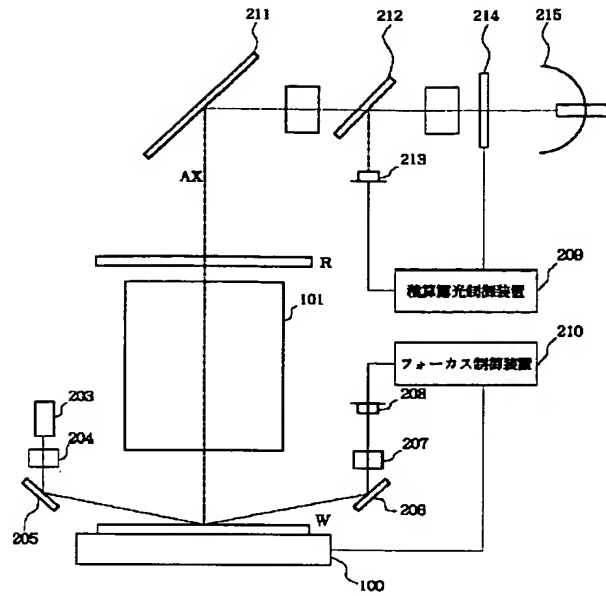
【符号の説明】

- 100 ウエハステージ
- 101 縮小投影レンズ
- 102 ビームスプリッタ
- 103 照明系
- 104 検出光学系
- 105 撮像装置
- 106  $A/D$  変換装置
- 107 投影積算装置
- 108  $FFT$  演算装置
- 110 制御装置
- 203 高輝度光源
- 204 照明光学系
- 205、206 折り曲げミラー
- 207 一検出光学系
- 208 2 次元位置検出素子
- 209 積算露光制御装置
- 210 フォーカス制御装置
- 215 光源

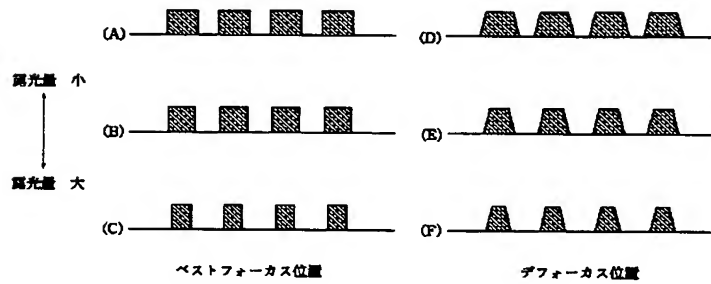
【図 1】



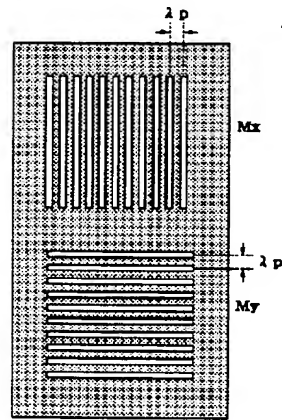
【図 2】



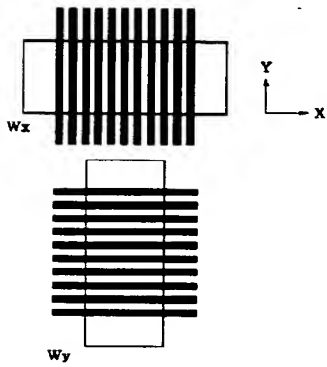
【図 3】



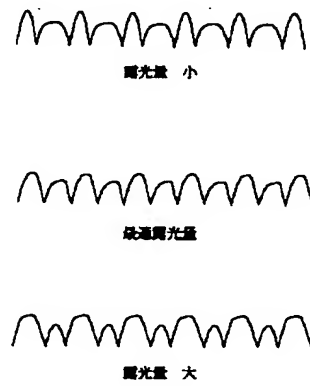
【図 4】



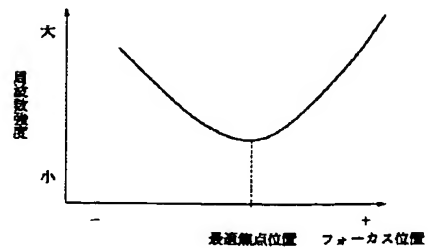
【図 5】



【図 6】

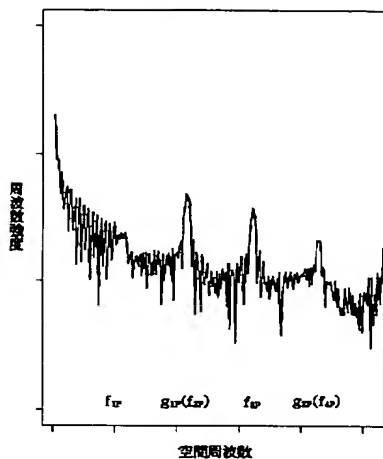


【図 14】



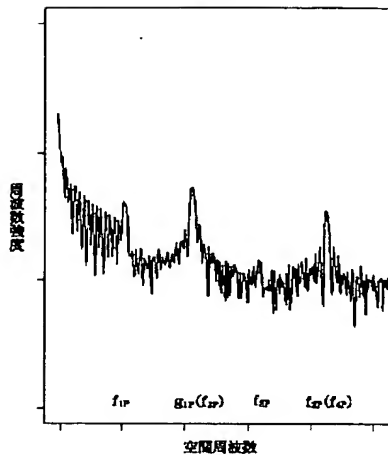
【図 7】

露光量 小



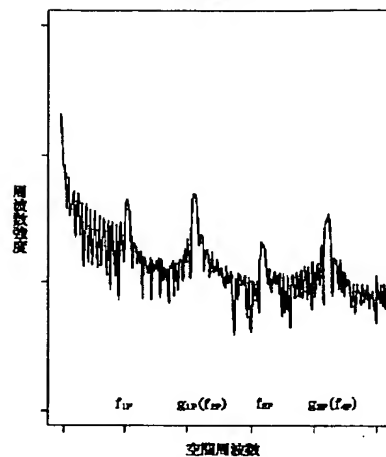
【図 8】

最適露光量

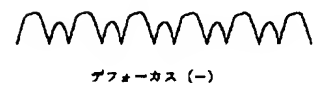


【図 9】

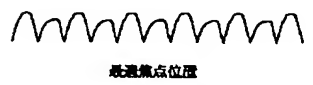
露光量 大



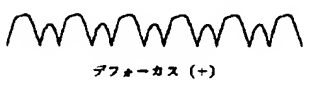
【図 10】



デフォーカス (-)



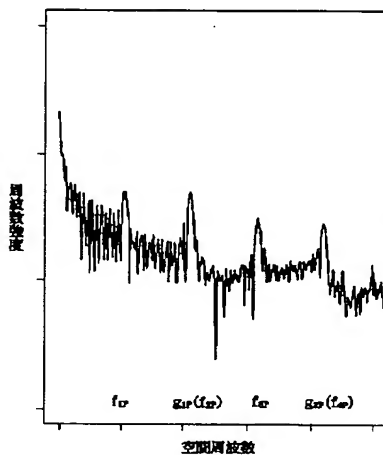
最適焦点位置



デフォーカス (+)

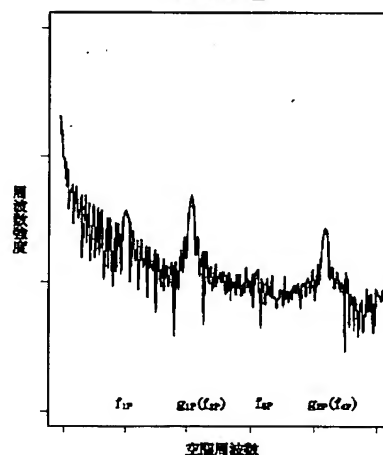
【図 11】

デフォーカス (-)

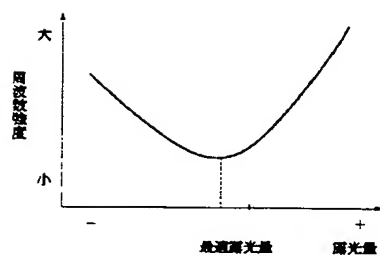


【図 12】

最適焦点位置



【図 15】







【図13】

